

VU Research Portal

An integrated study of the structure and thermomechanical properties of the European lithosphere

Tesauro, M.

2009

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Tesauro, M. (2009). *An integrated study of the structure and thermomechanical properties of the European lithosphere*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Een geïntegreerde studie van de structuur en thermo-mechanische eigenschappen van de Europese lithosfeer

SAMENVATTING (SUMMARY IN DUTCH)

Dit promotieonderzoek richt zich op de constructie en de analyse van een model van de Europese lithosfeer, samengesteld op basis van een integratie van een aantal bestaande geofysische studies en door een schatting van fysische (zoals bv dichtheid, temperatuur, snelheid) en rheologische parameters. Het model beschrijft de structuur en de fysische, en dan met name de rheologische eigenschappen van de belangrijkste lithosferische lagen. Het onderzoek bestaat uit verschillende stappen.

Hoofdstuk 1 beschrijft het doel van dit onderzoek, en geeft een overzicht van de geodynamische ontwikkeling en de geologische structuur van Europa. De lithosfeer evolutie van oost Europa wordt grotendeels gedomineerd door het oude, koude East European Craton (EEC), met daarin verspreid enkele kleine, gedeformeerde Phanerozoïsche en Meso-Neoproterozoïsche rift en platform systemen. Daarentegen bestaat westelijk Europa, enkele uitzonderingen daargelaten, uit dunne, warme, voornamelijk Phanerozoïsche lithosfeer, welke zich samengevoegd met het EEC tijdens Paleozoïsche en recentere fasen van gebergtevorming. De Europese continentale lithosfeer wordt gekenmerkt door een hoog niveau, zowel in frequentie als in sterkte, van seismiciteit, en door verticale bewegingen (opheffing en daling), welke een direct gevolg zijn van de huidige intraplaat spanningsvelden. Vanwege het heterogene karakter van lithosfeer deformatie en mede dankzij het grote aantal recentelijk uitgevoerde geofysische onderzoeken is Europa een ideaal onderzoeksgebied voor deze studie. Europa huisvest enkele natuurlijke laboratoria (bv het Alpen-Karpaten-Pannoons systeem, het Iberisch schiereiland) met tektonische verschijnselen zoals gebergtekets en sedimentaire bekkens die verschillen in ouderdom en ontwikkeling.

Hoofdstuk 2 beschrijft EuCRUST-07, een nieuw hoge-resolutie 3-D model van de Europese korst (35°N-71°N, 25°W-35°E). Dit model is vrij beschikbaar op internet: <ftp://ftp.agu.org/apend/gl/2007gl032244>. Dit nieuwe model kan als uitgangspunt gebruikt worden in numerieke modelstudies naar de wisselwerking tussen korst en mantel effecten. EuCRUST07 is tot stand gekomen door het samenvoegen van enkele honderden seismische lijnen, bepalingen van receiver functions (vrijwel allemaal gepubliceerde data), en een twintigtal lokale studies van de belangrijkste laagvlakken in de korst en de Moho diepte. Uit de beschikbare data werden door analyse en controle de kwalitatief beste gegevens selecteerd, welke vervolgens werden geïnterpoleerd naar een 15'x15' grid via de Kriging methode. Het nieuwe 3-D model bestaat uit drie lagen: een sedimentpakket en daaronder een uit 2 lagen bestaande kristallijne korst. Elk van de korstlagen wordt gekenmerkt door gemiddelde P-golf snelheden (V_p). Ten opzichte van eerdere modellen vertoont EuCRUST-07 aanzienlijke afwijkingen van de Moho diepte, van zelfs zo'n 10 km in enkele gebieden (b.v. het Baltisch schild). Het kristallijne basement komt in sommige delen van oost Europa aan de oppervlakte, terwijl het in west Europe gemiddeld zo'n 3-4 km diep ligt (met een maximum van 16 km), een gevolg van de aanwezigheid aldaar van relatief ondiepe sedimentaire bekkens. De snelheidsverdeling in de korst is in het nieuwe model veel heterogener dan in voorgaande modellen, met een gemiddelde V_p die varieert van 6.0 km/s tot 6.9 km/s. Ten opzichte van de bestaande modellen bevat het nieuwe model gemiddelde korstsnelheden over een groter en continuer bereik. Ook is in EuCRUST-07 de Moho diepte 5-10 km dieper in de orogene gebieden (b.v. Cantabrisch gebergte) en in gebieden waar door magmatische onderplating de korstdikte is toegenomen. De resultaten van EuCRUST-07 zijn gebruikt voor gevolgtrekkingen over de karakteristieke lithologie van delen van Europa. Een nieuwe lithologiekaart laat zien dat de oost Europa tektonische gebieden gekenmerkt worden door een granitische en/of felsisch granulitische bovenkorst en een mafisch granulitische onderkorst. In tegenstelling daarmee worden

de jongere west Europese tektonische gebieden meest gekarakteriseerd door een boven- en onderkorst van respectievelijk graniet-gneiss en dioriet samenstelling.

In *Hoofdstuk 3* wordt een nieuw tomografisch model voor de P en S snelheidsanomalie onder Europa gepresenteerd. Ten opzichte van eerdere modellen zijn in dit nieuwe model eventuele korsteffecten gecorrigeerd met behulp van EuCRUST-07. Het tomografische model gaat tot een diepte van 700 km en wordt bepaald door inversie van seismische data van het International Seismological Centre (ISC). Op wat grotere schaal laat het model een hoge snelheids anomalie zien tussen 100 en 300 km diepte onder de Alpen-Helleense boog, gerelateerd aan de aanwezigheid van dikke lithosfeer wortels en van subducerende platen, en een lage snelheids anomalie van de onderkant van de korst tot een diepte van 250 km gelegen onder de European Cenozoic Rift System (ECRIS). Voorts laat het nieuwe model, dat door de ingevoerde korstcorrecties robuuster is dan eerdere modellen, klein-schalige snelheidsanomalieën in meer detail zien, zoals bv de lage snelheids anomalie onder het Massif Central. Daarnaast is er een goede consistentie tussen het P- en het S-golf model voor het grootste deel van de bovenste 200 km, voor sommige structuren zelfs tot grotere diepte (bv. De Adriatische en de Afrikaanse plaat subduceerden respectievelijk onder de Apennijnen en de Egeïsche Zee). Door het vergelijken van het P- en het S-golf model konden enkele eerdere onderzoeksresultaten bevestigd worden, wat het mogelijk maakt om de hypothese over het hoe en waarom van een waargenomen anomalie te ondersteunen of te verwerpen.

In *Hoofdstuk 4* wordt een nieuw thermisch model voor de lithosfeer gepresenteerd, verkregen door de inversie van de P-golf snelheden van het nieuwe tomografische model. De gebruikte inversie methode is dezelfde als die van eerdere studies, maar door het gebruik van het nieuwe tomografisch model waarin ook korsteffecten zijn meegenomen, zal de betrouwbaarheid van de resultaten beter zijn. Manteltemperaturen worden geëxtrapoleerd naar het aardoppervlak met behulp van typische isothermen voor de korst, die voor de verschillende tektonische gebieden bepaald worden op basis van de karakteristieke radioactieve warmteproductie in elke korstlaag. De berekende temperaturen in het bovenste deel van de aardmantel variëren van 550°-750°C in oost Europe tot 900°-1100°C in west Europe. Een snelle verandering in temperatuur treedt op onder de Trans European Suture Zone (TESZ) en loopt door tot in de diepere delen van de boven mantel. De warmste delen corresponderen met de bekkens die vrij recentelijk extensie hebben ondergaan (b.v. Tyrreense Zee en het Pannoonse Bekken). Lage temperaturen bevinden zich onder de Pyreneeën, de Alpen en de Dinariden-Helleense boog, waarschijnlijk als gevolg van de aanwezigheid van diepe lithosferische wortels en gesubduceerde platen. In het verkregen thermische model is de 1200°C gebruikt om de lithosfeer-asthenosfeer grens te traceren. De lithosfeer dikte minder dan 100 km onder ECRIS en onder de warme bekkens (bv Tyrreense Zee), terwijl de grootste waarden zich bevinden onder het East European Platform (EEP) (200-300 km) en onder de Alpen en de Dinariden-Helleense boog (150-180 km).

In *Hoofdstuk 5* wordt een nieuw zwaartekrachtsmodel van de Europese lithosfeer gepresenteerd. Van elke korstlaag van het EuCRUST-07 model wordt het zwaartekrachtseffect berekend. Daarbij wordt met name aandacht gegeven aan een goede schatting van de dichtheid van het sedimentpakket, en welke wordt bepaald uit beschikbare petrofysische (boorgat) gegevens en geofysische meetmethoden. De dichtheid van de kristallijne korst werd bepaald door gebruik te maken van empirische snelheid-dichtheid relaties. Deze studie heeft geresulteerd in een nieuwe kaart van de residuele mantel zwaartekrachtsanomalie, en is gemaakt door de waargenomen zwaartekrachtsanomalie te corrigeren voor de bijdrage van de korst. Met dezelfde dichtheidgegevens voor de korst is ook een berekening gemaakt van de residuele topografie; dat is het deel van de waargenomen topografie dat niet wordt (over)gecompenseerd door de geometrische structuur van de korst. De residuele topografie is het resultaat van afwijkingen van het isostatisch evenwicht en van heterogeniteiten in de dichtheid van de mantel (in het bijzonder als gevolg van dynamische topografie). De residuele topografie laat een negatieve correlatie zien met residuele mantel zwaartekrachtsanomalieën als gevolg van massa anomalieën in de mantel, en is een bewijs van isostatische compensatie van de meeste delen van het studiegebied. Vervolgens wordt het

zwaartekrachtseffect van de mantel temperatuur bepaald met behulp van het thermische model beschreven in Hoofdstuk 4. Deze thermische zwaartekrachtsanomalie wordt verwijderd uit het totale zwaartekrachtsveld van de mantel. Het verkregen verschil kan mogelijk gerelateerd worden aan dichtheidsverschillen door verschil in mineralogische samenstelling. De residu zwaartekrachtsanomalie van de mantel is verwaarloosbaar onder de EEC (binnen ± 50 mGal) als gevolg van onderlinge compensatie tussen variaties in temperatuur (anomaal laag) en samenstelling (verdwijnen van ijzer). In gebieden waar extensie plaats vindt (b.v. de Tyrreense zee en het Pannoonse bekken) is het grote aandeel ($>80\%$) van thermisch geïnduceerde zwaartekrachtsanomalie in de totale residuele zwaartekrachtsanomalie van de mantel, welke in deze gebieden sterk negatief is (tot zo'n 100 mGal), een bevestiging van de aanwezigheid van hete lithosfeer. Voorts worden er sterk positieve (tot 150 mGal) residu zwaartekrachtsanomalieën berekend voor de mantel onder de Oost Alpen, de Dinariden en de Karpaten, welke meest gerelateerd worden aan variaties in de samenstelling van de mantel. Een van de meest interessante resultaten is de verandering in de signatuur van de compositionele zwaartekrachtsanomalie die berekend wordt voor de Dinariden-Helleense boog, en die gerelateerd kan worden aan verschillen in de omstandigheden van en het soort subductie dat in deze gebieden aanwezig is.

Hoofdstuk 6 laat zien dat de constructie van een 3-D rheologische sterkte kaart van de Europese lithosfeer ook bijdraagt tot een beter begrip van de dynamica van intra-lithosferische deformatieprocessen. Het identificeren van intraplaatgebieden die mechanisch sterker of zwakker zijn dan naastgelegen gebieden helpt in het beter begrijpen van de ruimtelijke variaties van de reactie van de Europese lithosfeer wanneer deze wordt blootgesteld aan grootschalige plaattektonische en/of thermische belasting. De sterkteverdeling in de Europese lithosfeer is berekend met behulp van het nieuwe thermische model (Hoofdstuk 4) en het nieuwe korst model (Hoofdstuk 2), met daarin laterale variaties in gesteentesamenstelling en dichtheid. Hoge sterkte wordt berekend voor gebieden met een gemiddeld/koel thermisch regime en een sterke korst rheologie (bv het EEP, het Noord Duits Bekken, het Boheems Massief). Zwakke sterkte zones, daarentegen, corresponderen met gebieden die beïnvloedt zijn door Tertiair vulkanisme en mantelpluimen, zoals ECRIS en het Massif Central. Een van de verrassende resultaten is het grote aandeel van de korst sterkte (50% van de geïntegreerde sterkte van de gehele lithosfeer) in een groot deel ($\sim 60\%$) van het studiegebied. Met name de orogene gebieden en de gebieden met een grote korstdikte (bv het Anatolisch plateau) worden gekenmerkt door een groot aandeel van de korststerkte ($>80\%$) en door een zwakke totale geïntegreerde sterkte. De verkregen sterkteverdeling is gebruikt om daarmee de elastische dikte (T_e) van de Europese lithosfeer te berekenen. Hieruit blijkt dat west Europa veelal gekarakteriseerd wordt door ontkoppelde lithosfeer lagen en lage waarden voor de berekende sterkte en T_e (<30 km). In tegenstelling daarmee wordt de lithosfeer van oost Europa gekenmerkt door hoge waarden voor T_e (80-100 km) en door gekoppelde lagen. Voor het continentale deel van het studiegebied is geen direct verband gevonden tussen T_e en de thermische ouderdom. In de tektonische gebieden ouder dan 85 Ma zijn de T_e waarden aanzienlijk lager dan theoretisch verwacht op basis van een functie van ouderdom en dikte van de korst, terwijl het omgekeerde waar is voor jongere gebieden.

Het afsluitende *Hoofdstuk 7* geeft een samenvatting van de belangrijkste resultaten verkregen in deze studie in termen van de methodieken die gebruikt zijn voor het samenstellen van een nieuw, geïntegreerd model van de Europese lithosfeer en van de ruimtelijke verdeling van enkele geofysische parameters (dichtheid, snelheid, temperatuur) in de belangrijkste tektonische gebieden. De laterale variaties in deze parameters kunnen gebruikt worden voor het verbeteren van schattingen van het spanningsveld in een gebied, alsmede de factoren die verantwoordelijk zijn voor de aanwezigheid van korte-golflengte spanningsbronnen.